6А

УДК 004.896.006.1(204.1)

Т. Акинфиев, Р. Фернандес, М. Армада
Институт промышленной автоматики Высшего совета научных исследований Испании (IAI CSIC), г. Мадрид
teodor@iai.csic.es

Концепция автономного робота для взятия проб воды

В статье рассматривается концепция разработки нового автономного робота, способного брать пробы воды с заданной глубины с высокой точностью позиционирования, особенно для случая взятия проб вблизи дна водоема. Робот имеет верхнюю и нижнюю части корпуса, которые связаны зубчатым ремнем. Для увеличения точности позиционирования используются специальные датчики.

Введение

В настоящее время взятие проб воды для химических или биологических анализов с определенной глубины водоема осуществляется с корабля [1], [2]. При этом оператор руками или с помощью подъемного крана опускает в воду емкость для проб воды и на определенной глубине с помощью дополнительного троса открывает емкость и закрывает ее после заполнения емкости водой. При таком подходе в качестве точки отсчета используется палуба корабля, что приводит к значительным ошибкам в определении реальной глубины, с которой берется проба воды. Такие факторы, как приливы и отливы, качка корабля, ошибки в определении длины троса и т.д. могут создавать погрешность в определении глубины порядка нескольких метров. Особенно критична такая ошибка в том случае, когда требуется взять пробу воды вблизи дна водоема.

Дополнительный недостаток такого метода состоит в том, что для взятия проб воды в разных точках необходимо осуществлять перемещение крупногабаритного корабля между этими точками и его остановку в требуемых точках. Это приводит к большим затратам топлива и, как следствие, к высокой стоимости каждой пробы воды.

Использование известных автономных подводных аппаратов (типа миниатюрной подводной лодки) [3], [4], у которых глубина погружения определяется с помощью датчика давления воды, не дает возможности увеличить точность определения глубины, с которой берется проба воды, из-за влияния на показания датчика давления таких параметров, как приливы и отливы, влияние волн на поверхности воды и изменение атмосферного давления. Кроме того, в момент взятия пробы воды изменяется вес аппарата, что приводит к нарушению равенства веса аппарата и архимедовой силы. Как следствие этого аппарат начинает погружаться, а для восстановления равновесия требуется с помощью системы управления изменять вес или объем аппарата, однако из-за возникающего запаздывания аппарат не остается на той же глубине, что создает дополнительную погрешность в точности позиционирования.

Целью данной работы является разработка автономного подводного робота, способного брать пробы воды в заранее заданных точках с требуемой глубины, обеспечивая при этом высокую точность позиционирования и низкую стоимость проб воды.

Основные принципы конструирования робота

Для снижения стоимости проб воды робот должен иметь возможность работать автономно, перемещаясь от базы (расположенной на берегу или корабле) к точкам взятия проб и обратно без помощи оператора, а также автоматически брать пробы воды в заданных точках, определяя глубину с высокой точностью.

Автономность перемещения робота между заданными точками может быть обеспечена при наличии мотора с гребным винтом и управляемым от системы управления рулем, причем система управления должна содержать блок GPS. Так как антенна GPS не может работать под водой, то робот должен иметь возможность плыть в надводном положении.

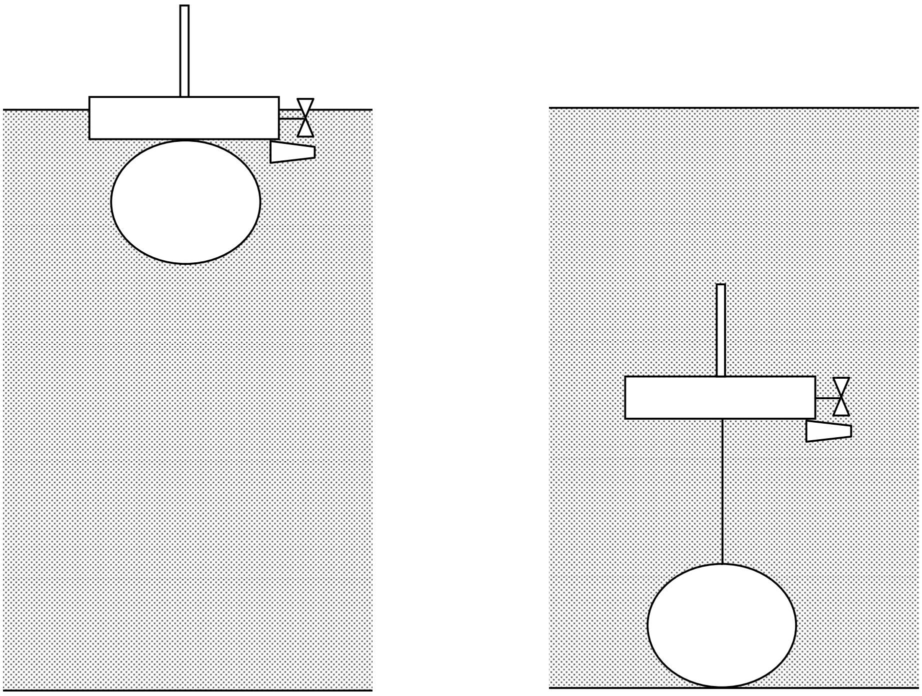


Рисунок 1 – Схема робота в момент движения по поверхности воды (слева) и в момент взятия пробы воды (справа)

Для обеспечения высокой точности позиционирования емкости для сбора проб воды необходимо отсчитывать координату от такой точки, которая не изменяет своего положения при волнении на поверхности, во время прилива и т.д. Естественно, что этому условию удовлетворяет точка на дне водоема. Таким образом, робот должен опираться на дно водоема и в то же время иметь возможность брать пробу воды из точки, которая находится на заранее заданном расстоянии от дна. Эти требования приводят к необходимости создания подводного робота [5], корпус которого состоит из двух частей, связанных гибким нерастяжимым тросом (рис. 1), имеющим устройство изменения эффективной длины этого троса. Верхняя часть корпуса робота всегда должна иметь положительную плавучесть (как с пустыми сосудами для проб воды, так и с заполненными сосудами), а нижняя часть корпуса робота всегда должна иметь отрицательную плавучесть. Так как робот работает в двух режимах (надводном и подводном), то весь робот должен иметь положительную плавучесть для надводного режима и отрицательную плавучесть для подводного режима и, таким образом, иметь устройство для изменения плавучести.

Конструкция робота

Верхняя часть корпуса робота [5] схематично представлена на рис. 2.

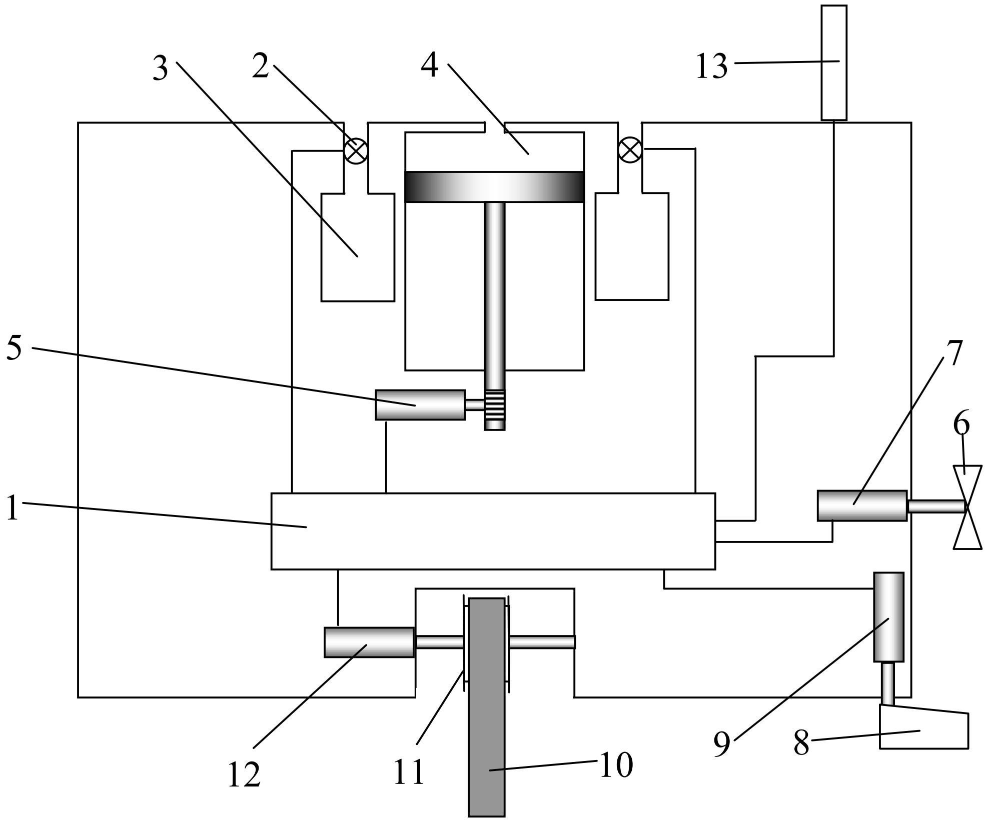


Рисунок 2 – Схема верхней части корпуса робота

Верхняя часть корпуса робота содержит систему управления 1 с источником питания и снабженные клапанами 2 емкости 3 для проб воды. Устройство для изменения плавучести робота выполнено в виде снабженного поршнем со штоком одностороннего цилиндра 4, причем шток поршня связан с приводом 5. Этот цилиндр служит для того, чтобы набирать забортную воду для уменьшения плавучести робота и выталкивать воду из цилиндра для увеличения плавучести робота. Объем и вес робота выбраны таким образом, чтобы робот плавал при пустом цилиндре (4) и тонул, когда цилиндр (4) заполнен водой.

Для перемещения робота на корпусе установлен гребной винт 6 с приводом 7 и руль 8 с приводом 9. Гибкий нерастяжимый трос, связывающий верхнюю и нижнюю части корпуса робота, выполнен в виде разомкнутого зубчатого ремня 10, один из концов которого жестко связан с нижней частью корпуса робота, а второй конец зубчатого ремня выполнен свободным. Ремень 10 взаимодействует с зубчатым шкивом 11, закрепленным на верхней части корпуса с возможностью вращения. Зубчатый шкив 11 связан со снабженным оптическим датчиком угла поворота электромотором 12. Все электромоторы, клапана и датчики связаны с системой управления 1, которая содержит также спутниковый навигатор, связанный с антенной 13.

Оптический датчик угла поворота мотора 5 позволяет системе управления получать информацию об эффективной длине ремня с высокой точностью. Естественно, это возможно только в том случае, когда зубчатый ремень не перескакивает через зуб шкива.

Для предотвращения такого перескакивания на верхней части корпуса робота установлен специальный ограничитель 14 (рис. 3), прижимающий зубчатый ремень к шкиву.

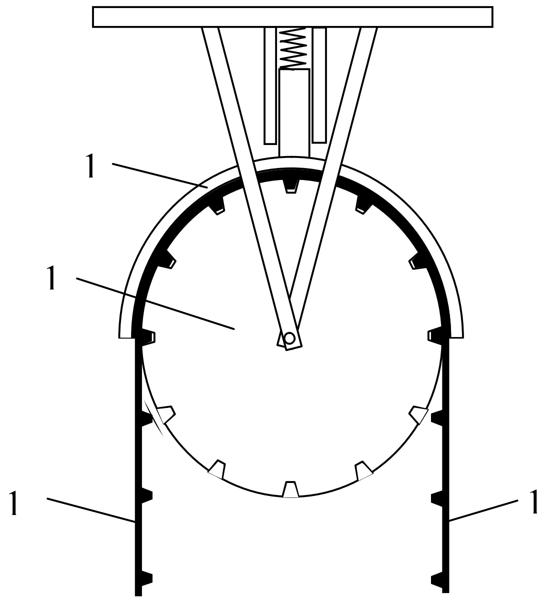


Рисунок 3 – Узел «шкив – зубчатый ремень» с ограничителем хода ремня 14

На нижней части корпуса робота установлен датчик контакта с дном. Один из вариантов реализации такого датчика представлен на рис. 4. Датчик контакта состоит из корпуса 15, в котором установлен подпружиненный шток 16 с закрепленным шаром на одном конце и с постоянным магнитом 17 на другом конце. На корпусе 15 закреплен герметизированный магнитоуправляемый контакт (геркон) 18, установленный с возможностью взаимодействия с магнитом 17. При возникновении контакта шара с опорной поверхностью пружина сжимается, а магнит 17 приближается к геркону 18. Контакты геркона замыкаются, а соответствующий сигнал информирует систему управления о том, что нижняя часть корпуса робота находится в контакте с дном водоема.

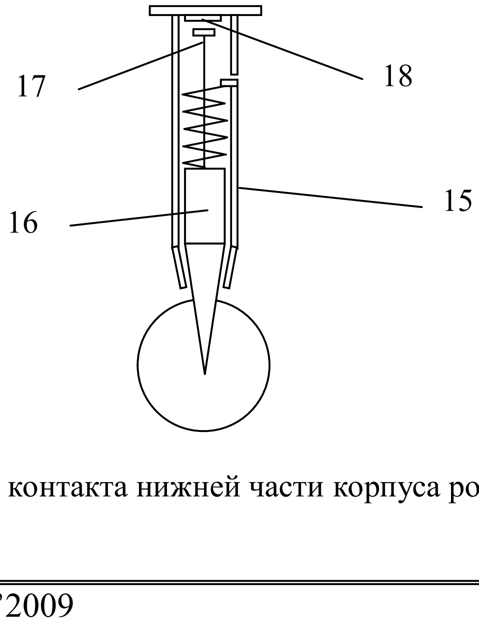


Рисунок 4 – Датчик контакта нижней части корпуса робота с дном водоема

Работа робота

Робот работает в двух различных режимах. Первый из них – надводный – соответствует движению робота по поверхности воды, а второй режим – подводный – соответствует процессу взятия проб воды.

Предполагается, что существует расположенная на берегу или корабле база. Оператор на базе записывает в систему управления робота координаты точек, в которых требуется взять пробы воды, и глубину, с которой требуется брать каждую из проб. Кроме того, в случае необходимости, оператор записывает в систему управления координаты промежуточных точек, определяющих траекторию движения робота (рис. 5).

Оператор (рис. 2) с помощью привода (5) перемещает поршень цилиндра (4) в крайнее верхнее положение (в этом положении цилиндр не заполнен водой и робот имеет положительную плавучесть). Нижняя часть корпуса робота с помощью зубчатого ремня прижата к верхней части корпуса. Оператор опускает робота в воду. Робот, ориентируясь на сигналы навигатора, с помощью гребного винта и руля плывет по заранее заданной траектории через промежуточные точки к той точке, в которой требуется взять пробу воды. При достижении этой точки с заранее заданной точностью робот останавливается и переходит в режим взятия пробы воды. После завершения этого режима робот по проходящей через промежуточные точки траектории движется к следующей точке, в которой требуется взять пробу воды. Далее процесс повторяется аналогичным образом, а по завершении взятия всех проб воды робот автоматически возвращается на базу, где оператор забирает все взятые пробы воды.



Рисунок 5 – Пример траектории движения робота при взятии проб в нескольких точках: ▲ – база, ★ – точки, в которых осуществляется взятие проб воды, o – заранее заданные точки, через которые должен пройти робот

Второй режим работы робота – взятие проб воды – осуществляется следующим образом. Робот находится на поверхности воды в той точке, в которой требуется взять пробу воды. По сигналу системы управления 1 мотор 5 перемещает вниз поршень цилиндра 4, а забортная вода заполняет всю верхнюю часть цилиндра 4 (рис. 2). Вес робота увеличивается, робот тонет и опускается на дно. В тот момент, когда нижняя часть робота начинает опираться на дно, срабатывает установленный на нижней части корпуса робота датчик контакта с дном и посылает соответствующий сигнал в систему управления. Система управления с помощью мотора 12 начинает вращать шкив 11 и, таким образом, увеличивает эффективную длину зубчатого ремня 10. При этом верхняя часть робота, имеющая положительную плавучесть, начинает всплывать. В тот момент, когда эффективная длина зубчатого ремня, вычисляемая систе-

мой управления с помощью оптического датчика угла поворота мотора 12, соответствует той глубине водоема, с которой требуется взять пробу воды, мотор 12 прекращает перемещение ремня и удерживает его в таком положении.

Следует отметить, что эффективная длина зубчатого ремня не всегда однозначно задает положение верхней части корпуса робота. Одна из причин этого состоит в том, что в момент торможения двигателем 12 нижняя часть корпуса робота может временно оторваться от дна. В этом случае система управления получит соответствующий сигнал от датчика контакта нижней части корпуса робота с дном водоема. Вторая причина связана с тем, что при всплывании верхней части корпуса робота возникает сила вязкого трения о воду, которая очень быстро увеличивается с увеличением скорости всплывания. Это может привести к тому, что эффективная длина зубчатого ремня уже соответствует требуемой, но ненатянутый ремень может деформироваться, а процесс всплытия при этом продолжается. Перед тем, как открывать клапан для заполнения емкости пробой воды, система управления должна получить информацию о том, что процесс всплытия прекратился. Это можно сделать с помощью простейшего датчика натяжения зубчатого ремня (если ремень натянут, то процесс всплытия прекратился) или с помощью датчика давления забортной жидкости. Для этого система управления должна анализировать изменение давления забортной жидкости. Если давление уменьшается, то верхняя часть робота еще всплывает, а если давление совершает малые колебания вокруг некоторого значения, то процесс всплытия завершился.

После того, как система управления получила сигнал о том, что верхняя часть корпуса робота находится на требуемой глубине и процесс всплытия завершен, открывается электромагнитный клапан 2. Забортная вода заполняет емкость 3 для пробы воды, вытесняя ранее имеющийся там воздух. По истечении времени, достаточного для заполнения емкости, клапан закрывается. В том случае, когда необходимо взять пробу воды в той же точке, но с другой глубины, снова изменяют эффективную длину зубчатого ремня и действуют аналогично тому, как и при взятии первой пробы.

Завершив взятие проб воды в данной точке, робот переходит в первый режим работы для перемещения к следующей точке, в которой требуется взять пробы воды. Для перехода в первый режим работы мотор 5 перемещает поршень цилиндра 4 в крайнее верхнее положение, вытесняя имеющуюся в цилиндре воду. Это приводит к возникновению положительной плавучести робота, который начинает всплывать. Во время всплытия мотор 12 уменьшает эффективную длину зубчатого ремня и прижимает нижнюю часть корпуса робота к верхней части корпуса. После этого робот готов к тому, чтобы начать двигаться к следующей точке, в которой требуется взять пробу воды.

В ходе лабораторных испытаний элементов робота показано, что он может обеспечить точность позиционирования по глубине порядка одного миллиметра. Отметим, что эта точность относится к ситуации, когда робот находится в стоячей воде, а эффективная длина зубчатого ремня менее одного метра.

В реальных условиях работы робота в море точность позиционирования по глубине может существенно ухудшиться из-за таких факторов, как зависимость температуры воды от глубины погружения и морских течений.

Так, наличие морского течения может привести к тому, что не только зубчатый ремень будет иметь некоторый угол наклона, но верхняя и нижняя части корпуса робота также могут иметь небольшой наклон. Это приведет к существенным погрешностям при определении реальной глубины, с которой берется проба воды, особенно в тех случаях, когда эффективная длина зубчатого ремня достаточно велика. Для устранения этого недостатка можно использовать высокоточные датчики угла наклона, связанные с системой управления, которая в этом случае сможет автоматически вносить коррективы и выбирать требуемую эффективную длину зубчатого ремня с учетом возможных наклонов элементов робота. Особенно важно использовать датчик угла наклона зубчатого ремня, но представляется целесообразным использовть также датчики углов наклона верхней и нижней частей корпуса робота.

Изменение температуры воды в зависимости от глубины погружения несколько изменяет эффективную длину зубчатого ремня за счет эффекта теплового расширения. Расчеты показывают, что при длине зубчатого ремня порядка нескольких десятков метров, реальная длина зубчатого ремня за счет этого эффекта может измениться на величину порядка 1 сантиметра. Для устранения этой погрешности можно использовать связанный с системой управления датчик температуры забортной воды, расположенный на верхней части корпуса робота. Такой датчик позволит системе управления в зависимости от температуры забортной воды вносить корректировку в величину требуемой эффективной длины зубчатого ремня.

Выводы

Разработана концепция нового автономного робота для взятия проб воды. Робот способен автономно перемещаться к заданным точкам и в этих точках брать пробы воды с заданной глубины с высокой точностью позиционирования, что особенно важно для случая, когда пробы берутся вблизи дна водоема. Робот имеет верхнюю и нижнюю части корпуса, которые связаны зубчатым ремнем. В роботе используются как стандартные датчики, так и специально разработанные датчики, которые обеспечивают нормальное функционирование робота с высокой точностью позиционирования. Разработаны новые алгоритмы управления этим роботом.

Благодарности

Т. Акинфиев выражает благодарность Высшему совету научных исследований Испании (CSIC) за финансовую поддержку настоящей работы, а Р. Фернандес выражает благодарность Министерству науки и инноваций Испании.

Литература

1. Encyclopaedia of Ocean Sciences. – Vol. 1. – P. 579-588.
2. Woods Hole Oceanographic Institution. – Режим доступа : http://www.whoi.edu/page.do?pid=8415&tid= 201&cid=422&ct=362(2009).
3. Technology and applications of autonomous underwater vehicles [Edited by G. Griffiths] Taylor and Francis Group, 2003.
4. Novick D. The development of a highly manoeuvrable underwater vehicle / D. Novick, R. Pitzer et al. // Robotics 98: The 3rd International Conference and Exposition/Demonstration on Robotics for Challenging Environments. – 1998.
5. Patent application ES200930092 (2009). Device for sampling of water and method of control of the same / Akinfiev T., Fernandez R., Armada M.

Т. Акінфієв, Р. Фернандес, М. Армада

Концепція автономного робота для узяття проб води

У статті розглядається концепція розробки нового автономного робота для взяття проб води із заданої глибини з високою точністю позиціонування, особливо для випадку взяття проб поблизу дна водоймища. Робот має верхню і нижню частини корпуси, які зв'язані зубчатим ременем. Для збільшення точності позиціонування використовуються спеціальні датчики.

T. Akinfiev, R. Fernandez, M. Armada

A Concept of Autonomous Robot for Water Sampling

In this paper a concept of a new autonomous underwater robot for sampling of water is considered. The objective of the concept is to create a robot with a possibility of water sampling from certain depth with acceptably high accuracy, especially when it is required to take sample of water in close proximity to a reservoir bottom. The robot's body has the top part, the bottom part and a toothed belt connecting them. Sensors fusion is used to increase accuracy.

Статья поступила в редакцию 26.07.2009.